

INSTITUT FÜR BAUSTOFFKUNDE UND STAHLBETONBAU
DER TECHNISCHEN HOCHSCHULE BRAUNSCHWEIG
DIREKTOREN: PROF. DR.-ING. K. KORDINA – PROF. DR.-ING. G. REHM

Abschlußbericht zum Forschungsauftrag
"Untersuchungen über den Einfluß von Erschütterungen
auf die Festigkeit und die Haftung von Beton"

Bericht erstattet von
Dr.-Ing. J. Steinert
Dezember 1969

BIBLIOTHEK
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
der Technischen Universität Braunschweig
Beethovenstraße 52
D-3300 Braunschweig

Gefördert mit Hilfe von Forschungsmitteln des Landes Niedersachsen

Az.: II A B V 4e - 64/67 -

Postsendungen:
33 Braunschweig, Beethovenstraße 52
Erfüllungsort und Gerichtsstand Braunschweig

Fernsprecher: (0531) 478 22 81

Fernschreiber: 952698 ibstb d

Ab 2.4.1972
Fernschreiber 952698

Zur Vermeidung von Verzögerungen wird dringend gebeten, Zuschriften nur an das Institut zu richten, nicht aber an einzelne Mitarbeiter.

1. Einleitung

Beton- und Stahlbetonbauteile müssen gelegentlich während der Einwirkung von dynamischen Beanspruchungen hergestellt werden. Das ist z.B. der Fall bei der Ausbesserung von Verkehrsbauten (Brücken), wenn der Fahrzeugverkehr nicht auf beiden Fahrspuren zugleich unterbrochen werden kann oder bei der Erweiterung von Industriebauten, wenn ein mit Pressen, Stanzen u.ä. Erschütterungen verbundener Produktionsgang nicht für eine längere Zeit stillgelegt werden soll. Mitunter werden auch Bauwerke aus Fertigteilen Erschütterungen ausgesetzt, bevor der Fugenbeton hinreichend abgebunden hat.

In derartigen Fällen tritt die Frage auf, ob sich die zusätzliche Schwingbeanspruchung auf den erhärtenden Beton schädlich auswirkt.

Nach den Bestimmungen des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, vgl. DIN 1045, muß Beton während der ersten Zeit des Erhärtens gegen schädliche Einflüsse, u.a. auch gegen Erschütterungen geschützt werden. In der Literatur finden sich aber widerspruchsvolle Angaben über den Einfluß von Erschütterungen auf jungen Beton bezüglich seiner späteren Festigkeit /1/. Deshalb sind in letzter Zeit im Zusammenhang mit Brückenbauten einige Untersuchungen des Einflusses von Erschütterungen durchgeführt worden /1/2/, die jeweils günstige Ergebnisse erbrachten. Gegen diese Untersuchungen läßt sich einwenden, daß die verwendeten Prüfkörper (Würfel oder Platten) zwar vorgegebenen Erschütterungen mit z.T. unbekannter Stärke ausgesetzt, der Beton jedoch nicht oder nicht wesentlich - ähnlich den späteren Einwirkungen - verformungsbeansprucht bzw. biegebeansprucht wurde.

Daher sind in den nachfolgend beschriebenen Untersuchungen als Prüfbauteile Biegebalken verwendet worden, die vom Zeitpunkt der beendeten Betonierarbeiten an mehrere Stunden einer definierten Biege-Schwingbeanspruchung ausgesetzt wurden. Nach mehrwöchentlicher Lagerung im Normalklima nach DIN 1048 wurden aus den Balken Gütewürfel und Biegezug-Prüfkörper herausgeschnitten und deren Festigkeiten ermittelt. Diese Methode hat gegenüber den bisher angewendeten mehr zufallsabhängigen Prüfungen die Vorteile einer übersichtlichen dynamischen Beanspruchung, die von der Balkenmitte bis zu den Auflagern monoton abnimmt, sowie der Möglichkeit, zwei gleichbeanspruchte, aus ein und derselben Mischung stammende Proben zu entnehmen.

Die Änderung der Festigkeit wurde an 3,50 m langen Balken mit 3 m Stützweite von 20 x 20 cm² Querschnitt ermittelt. Außerdem wurde auch die bei einer Schwingungseinwirkung erreichbare Betonhaftung "neu auf alt" festgestellt. Zu diesem Zwecke sind Balken gleicher Länge von 10 cm Dicke hergestellt worden, die nach einiger Zeit einen etwa 10 cm dicken Aufbeton erhielten, der während seiner Erstarrung ebenfalls der Einwirkung von Erschütterungen ausgesetzt wurde.

2. Versuchsdurchführung

Der Versuchsaufbau ist in Anlage 1 dargestellt; die Prüfdaten enthält die Tabelle auf der folgenden Seite. Die Schalung bestand im wesentlichen aus einem Stahlträger U 200 DIN 1026 St.33 (nach unten offen), auf dem eine 4 mm dicke Betoplanplatte verschraubt wurde, und den hiervon unabhängigen Seitenteilen aus 22 mm dickem Magnoplan-Schalholz. Die Wangen der Schalung waren auf dem massiven Fußboden über 60 mm - Winkelstahlschienen befestigt, so daß der Träger als Schalungsgrundplatte von den Seitenteilen unabhängig verformt werden konnte. Zur Herabsetzung der Reibung zwischen dem mit dem Träger schwingenden Betonbalken und den Seitenteilen der Schalung waren diese lose mit 0,2 mm dicker PVC-Folie umhüllt worden. Trotzdem war teilweise ein wesentlicher Einfluß der Schalung vorhanden, der sich dadurch äußerte, daß zur Erzielung einer bestimmten Amplitude in Systemmitte nach dem Ausschalen nur noch 20% der vor dem Ausschalen erforderlichen Kraft aufzubringen war.

Der Stahlträger verschiebt die Schwerelinie des Stahlbetonbalkens um 2,3 cm nach unten, so daß die Oberseite eine um 23% größere Dehnung bzw. Stauchung aufweist als die auf dem Träger aufliegende Balkenunterseite, vorausgesetzt Balken und Träger dürften als ein einziges System aufgefaßt werden. Wie die Versuchserfahrung aber zeigt, lösen sich nach einer unbekannten Dauer Stahlbetonbalken und Unterlage voneinander. Somit kann lediglich erwartet werden, daß die Oberseiten einer stärkeren Beanspruchung ausgesetzt waren als die Unterseiten.

Durch das Eigengewicht des Trägers und das Betongewicht ergibt sich eine Trägerdurchbiegung von 4 mm; es entstehen daher bei dem Abbindeprozess schwach gekrümmte Balken, was jedoch ohne Bedeutung für die Untersuchungen ist.

Zusammenstellung der Prüfdaten

a	b	c	d	e	f	g	h	i
Balken	Beginn der Schwing- beanspruchung in Stunden	Zeitpunkt des Ausschalens nach Stunden	Versuchsdauer in Stunden	Frequenz in Hz	Schwingweg- amplitude x_{ss} in mm	Schwing- geschwindig- keit v_{eff} in mm/s	Schwing- beschleunigung a in cm/s ²	Schwing- beanspruchung $\frac{10^3 \sigma}{E}$
1	0	19	50	20	0,506	22,5	400	0,034
2	0	17	29	20	0,506	22,5	400	0,034
			23	10	0,522	11,6	103	0,035
3	3	19	26,5	12,5	0,5	13,9	152	0,033
4	2	6	6	12,5	0,707	19,6	218	0,047
5	2	6	28	12,5	0,707	19,6	218	0,047

Zu b, c und d: Zeit in Stunden nach Abschluß der Betonierarbeiten

Für den Beton der Prüfkörper wurde eine Druckfestigkeit von 300 kp/cm^2 angestrebt und daher eine Mischung mit einem Zementanteil von 220 kg je m^3 Beton gewählt; der Wasser-Zementwert betrug $0,675$. Der Zementanteil lag damit noch unter dem für eine optimale Sieblinie nach DIN 1045 zulässigen Wert von 240 kg je m^3 Beton. Maßgebend für die Wahl eines so geringen Anteils war einerseits der Wunsch, Schwindrisse nahezu vollständig auszuschließen, und andererseits die Vorstellung, daß evtl. betonschädigende Einflüsse von Erschütterungen bei einem Beton minderer Güte eher nachzuweisen sind als bei einem hochwertigen Beton. Der Zuschlagstoff wurde aus 5 Korngruppen im Bereich der Sieblinien D/E zusammengesetzt. Die Konsistenz war bei einem Ausbreitmaß von ca. 40 cm weich-plastisch. Zusammen mit den Balken wurden jeweils Gütewürfel nach DIN 1048 von 20 cm Kantenlänge hergestellt.

Die Balken wurden bewehrt, vgl. Anlage 2, um die Wahrscheinlichkeit von Schäden durch Transport und Sägen herabzusetzen. Wie aus der Literatur zu entnehmen ist, kann durch die hier gewählte Bewehrung die Würfeldruckfestigkeit um 8% vergrößert /3/ werden.

Die Schwingungserregung erfolgte mit einer servohydraulisch gesteuerten Prüfmaschine (HYDROPULS-Anlage der Fa. Schenck, Darmstadt), deren Druckzylinder über der Balkenmitte angeordnet wurde. Zur Verbindung mit dem Stahlträger dienten profilierte Bolzen, die am Träger befestigt und mit einbetoniert wurden. Die Prüfmaschine erlaubt eine Belastung von $\pm 1 \text{ Mp}$ im Frequenzbereich zwischen 0 und etwa 50 Hz bei maximal 50 mm Schwingwegamplitude.

Die dynamische Beanspruchung wurde zunächst so festgelegt, daß der erhärtete schwingende Balken einer maximalen dynamischen Biegezug- bzw. -druckspannung von 10 kp/cm^2 - das entspricht etwa 25% der Biegezugfestigkeit - ausgesetzt ist. Unter der Annahme eines dynamischen Elastizitätsmoduls von $\tilde{E}_b = 3 \cdot 10^5 \text{ kp/cm}^2$ folgt damit eine Durchbiegung in Systemmitte von $\delta = \frac{\sigma}{E} \frac{L^2}{Eh} = 0,025 \text{ cm}$ bzw. eine Doppelamplitude von $x_{ss} = 0,5 \text{ mm}$.

Die Eigenfrequenz des erhärteten Balkens läßt sich auf etwa 35 Hz abschätzen; die des Trägers mit noch plastischem Beton beträgt etwa 9 Hz . Eine Resonanzbeanspruchung sollte wegen der sich beim Abbinden verändernden Eigenfrequenz vermieden werden. Deshalb wurde für die Erregerfrequenz der erzwungenen Schwingungen zunächst 20 Hz gewählt. Hierbei war bewußt, daß die Resonanz im Laufe der Zeit durchfahren werden mußte. Eine Erregerfrequenz von 20 Hz stellt einen bauüblichen Wert dar.

Beispielsweise sind bei G. Back /1/ folgende Werte für die Schwingungsgrößen angegeben:

Erregerfrequenzen	$8 < f_E < 38$	Hz
Amplituden	$0,011 < x_s < 0,065$	mm

Die maximale Schwinggeschwindigkeit, die für resonanznahe Schwingungen der Spannung proportional ist, betrug in /1/ $V_{\text{eff}} = 4,6$ mm/s, hier dagegen $V_{\text{eff}} = 22,5$ mm/s. Aus diesen Werten ist zu entnehmen, daß die der Prüfung zugrunde gelegten Werte eine relativ große dynamische Beanspruchung bedeuten.

Die Festlegung der Beanspruchung ist bei derartigen Untersuchungen ein grundsätzliches Problem. Bei dem beidseitig gestützten Balken gilt für die bezogene maximale Biegezugspannung:

$$\frac{\sigma}{E} = \frac{6 \delta h}{L^2} = \frac{4 \delta}{3 \cdot 10^3} = \frac{1,33 \cdot \delta}{10^3} ; \text{ für } L = 300 \text{ cm und } h = 20 \text{ cm.}$$

Hält man die dynamische Durchbiegung konstant, ist auch das Verhältnis $\frac{\sigma}{E}$ eine Konstante. Da während des Erstarrens sowohl der Elastizitätsmodul als auch die Biegezugfestigkeit zunimmt, ändert sich mit der Zeit die Beanspruchung $\frac{\sigma}{\beta_z}$. In der Literatur findet man einige Angaben über die zeitliche Abhängigkeit des Verhältnisses $\frac{\beta_z}{E}$ /4/5/, die jedoch nur unter Vorbehalt auf den vorliegenden Fall übertragen werden können. Danach würde nach etwa 6 Stunden das Verhältnis β_z/E ein Minimum durchlaufen, dem im vorliegenden Falle für die Beanspruchung ein Maximum mit schätzungsweise $\sigma/\beta_z = 40\%$ entspricht. Sichtbare Gefügeschäden, wie klaffende Risse, waren hierdurch also keinesfalls zu erwarten.

Die Kontrolle der Schwingstärke erfolgte vorzugsweise durch Messung der Beschleunigung in Systemmitte. Vor und nach dem Ausschalen wurde auch die Schwingungsform längs des Balkens abgetastet und das Symmetrieverhalten geprüft.

Insgesamt wurden 5 Balken geprüft, wobei der fünfte als Wiederholung der Versuche 2 und 4 aufzufassen ist. Bei Balken 2 trat etwa nach 29 Stunden Schwingungsbeanspruchung ein Resonanzeffekt auf, der im Auflagerbereich, vom überkragenden Ende einer Seite ausgehend, zu einer Ablösung des Balkens vom Träger und danach zu einem Verlust des Haftverbundes zwischen Unterbeton (alt) und Aufbeton (neu) führte. Aus diesem Grund wurde bei Balken 5 auf den Stahlträger verzichtet und stattdessen der erhärtete Unterbeton allein als Träger für den Aufbeton verwendet.

Nach der Versuchskonzeption sollten die Prüfbalken über den Auflagern nicht dynamisch beansprucht werden. Deshalb wurde die Erregerfrequenz und damit die Beschleunigung herabgesetzt (bei Balken 2 auf 10 Hz; danach auf 12,5 Hz), ohne jedoch die Schwingbeanspruchung σ/E mit zu vermindern. Wie die Festigkeitsergebnisse der ersten Balken zeigten, wirkte die dynamische Belastung als Rüttelleffekt und erzeugte eine Festigkeitssteigerung. Deshalb wurde bei den letzten Balken die Schwingbeanspruchung um 40% auf $10^3 \cdot \sigma/E = 0,047$ vergrößert.

Die Versuchsdauer lag zwischen 6 - bedingt durch Ausfall der Prüfmaschine - und 50 Stunden. Ab Balken 3 wurde mit der Schwingbeanspruchung erst bei Erstarrungsbeginn des Zementes begonnen, da ungewollte, verfestigende Rüttelleffekte vermieden werden sollten und im Zeitpunkt des Abbindens die größte Wahrscheinlichkeit für eine Schädigung gegeben ist.

Im Alter von mindestens 3 Wochen wurden aus den Balken nach einem bestimmten "Schneidplan", s. Anlage 2, die Prüfkörper herausgesägt und mit 28 bis 36 Tagen geprüft. Bei zweischichtigen Balken war der Unterbeton bis zu 64 Tagen alt. Die Prüfung der "Würfel"-Druckfestigkeit erfolgte senkrecht zu Schwingungsrichtung und Schnittflächen. Die Biegezugfestigkeit der Balken mit Aufbeton wurde jeweils zuerst über die Grenzschicht "alt-neu" (Haftbereich) ermittelt und danach an den sich hierbei ergebenden Plattenstreifen von Aufbeton und Unterbeton.

Die Ergebnisse der einzelnen Prüfungen sind in den Anlagen 3 bis 6 zu diesem Bericht zusammengestellt.

3. Untersuchungsergebnisse

3.1 - vgl. Anlage 3

Die Druckfestigkeit der monolithisch hergestellten Balken 1 und 3 wurde durch die Schwingungsbeanspruchung bis zu 20% vergrößert. Diese Zunahme der Festigkeit ist in der Balkenmitte am größten und nimmt gegen die Auflager hin ab.

3.2 - vgl. Anlage 4

Die Biegezugfestigkeit von Balken 1 hat durch die Schwingungseinwirkung eine Steigerung erfahren, im Gegensatz zu Balken 3, bei dem in Balkenmitte offenbar eine Festigkeitsminderung eintrat. Die Unterschiede in der Schwingbeanspruchung sind gering, so daß die unterschiedlichen Festigkeiten hierdurch nicht erklärt werden können.

3.3 - vgl. Anlage 5

Die Druckfestigkeit der zweischichtig betonierten Balken 2, 4 und 5 hängt nicht in eindeutiger Weise vom Auflagerabstand der entnommenen Proben ab.

3.4 - vgl. Anlage 6

Für die Biegezugfestigkeit der Balken 2 und 4 ergab sich keine Abhängigkeit vom Auflagerabstand, während bei Balken 5 eine eindeutige Festigkeitssteigerung durch die Schwingungsbeanspruchung eingetreten ist.

Bei Balken 2 bestand nach Versuchsende zum größten Teil kein Verbund zwischen Aufbeton und Unterbeton, was auf die kurzzeitig überhöhte Beanspruchung beim Durchwandern der Resonanz in Zusammenhang mit dem Erstarrungsprozess zurückgeführt wird. Aus diesem Balken wurden zur Verbesserung der Aussagefähigkeit nachträglich noch weitere Proben herausgeschnitten, deren Festigkeitswerte zwar im Auflagerbereich gut mit den anderen übereinstimmen im mittleren Bereich aber eine wesentliche Festigkeitsminderung aufweisen. Ein Foto des Biegezugprüfkörpers rechts der Mitte - nach erfolgter Prüfung - ist diesem Bericht als Anlage 7 beigegeben. Es ist ersichtlich, daß das Gefüge des Aufbetons, wahrscheinlich durch nicht einwandfreie Verankerung des Bolzens

im Stahlträger, stark geschädigt wurde. Wie man erkennt, fehlt im Aufbeton an zahlreichen Stellen der Zuschlag der feinen und mittleren Korngruppen; hierdurch sind die Korngrenzen der Grobzuschläge stellenweise freigelegt worden. Beim ersten Eingriff der Säge zum Abtrennen der 3 cm dicken Platte für die Biegezugprüfung ist ein Stück Beton in der Breite der Stahlüberdeckung aus dem Aufbeton gebrochen, während der Unterbeton ein normales Verhalten zeigt. Der Grund hierfür dürfte in dem mangelhaften Verbund zwischen Stahl und Beton beim Aufbeton liegen. Diese Fehlstellen können auf resonanznahe Schwingungen der nur punktweise durch Bügel mit dem Unterbeton verbundenen Längsbewehrungs-Stäbe zurückgeführt werden. Hierin wird die größere Gefahr bei der Einwirkung von Erschütterungen auf Stahlbetonbauteile gesehen, und nicht in einer unmittelbaren Schädigung des Betongefüges.

Bei Balken 4 ist ein Einfluß der Schwingungen überhaupt nicht erkennbar. Besonders fällt auch im Haftbereich die hohe Biegezugfestigkeit auf, die nahezu an die des Betons heranreicht.

Ein noch anderes Ergebnis wurde an Balken 5 erzielt, der zur Bestätigung des an Balken 2 beobachteten Verhaltens, das zunächst auf eine Festigkeitsminderung hinzuweisen schien, nachträglich hergestellt und stärker als Balken 2 beansprucht wurde. Neben einer vom Balkenquerschnitt unabhängigen Verbundwirkung ist eine durch die Schwingungseinwirkung erhöhte Biegezugfestigkeit vorhanden. Von besonderem Interesse dürfte auch sein, daß der Unterbeton, der erst nach 35 Tagen zusammen mit dem Aufbeton zu Schwingungen angeregt wurde, hierdurch noch eine Steigerung der Biegezugfestigkeit erfahren hat.

Bei einer Erklärung für die Steigerung der Biegezugfestigkeit ist zu beachten, daß hier der Unterbeton beim Betonieren des Aufbetons nicht mehr auf dem sonst verwendeten Stahlträger lag und daher wesentlich stärker dynamisch und vor allem statisch beansprucht wurde. Möglicherweise ist die höhere Belastung allein schon ausreichend, um in dem rel. jungen Betonalter eine Festigkeitssteigerung herbeizuführen. Aus der Literatur ist bekannt, daß durch Dauerlast die Kurzzeitfestigkeit des Betons vergrößert wird, und zwar in zunehmendem Maße mit der Betongüte, der Höhe und Dauer der Belastung und je jünger das Betonalter bei Beginn der Belastung ist /6/.

Ferner wäre es denkbar, daß der Unterbeton Schwindrisse aufwies, wenn auch nur im Mikrogefüge, die beim Aufbringen der oberen Betonschicht mit Zementschlempe verfüllt und entsprechend der Stärke der Schwingungsbeanspruchung verdichtet wurden.

Außerdem traten bei den Balken wesentliche Unterschiede im Erstarrungsverlauf auf, obgleich stets dieselbe Betonrezeptur verwendet wurde. Der Beton von Balken 4 erstarrte in einem Drittel der bei Balken 5 beobachteten Zeit. Über den Erstarrungsverlauf von Balken 2 können nachträglich keine Angaben mehr gemacht werden. Allerdings ist bei dem 4 Monate nach den anderen hergestellten Balken 5 Zement einer anderen Lieferung verwendet worden, dessen Eigenschaften nicht überprüft wurden.

Schlußfolgerung:

Mehrfach - jedoch nicht immer - hat sich gezeigt, daß die Schwingungsbeanspruchung als eine Fortsetzung des Rüttelvorganges aufgefaßt werden kann und dementsprechend eine Erhöhung der Betonfestigkeit bewirkt. Zusammenfassend muß aber festgestellt werden, daß anhand der bisher vorliegenden Ergebnisse noch keine verallgemeinerungsfähigen Aussagen zum Einfluß von Schwingungen auf die Festigkeit und die Verbundhaftung zwischen unterschiedlich alten Betonschichten möglich sind.

Eine Fortsetzung der Untersuchungen ist daher wünschenswert. Dabei sollte jedoch folgendes beachtet werden:

1. Die vorgegebene Betonfestigkeit ist genauer, d.b. vor allem gleichmäßiger, einzuhalten als bei den bisher durchgeführten Untersuchungen, z.B. durch Einlagerung des Zementes für das gesamte Programm in luftdicht verschlossene Behälter. Insbesondere muß künftig ein gleichartiger Erstarrungsverlauf für alle Betonmischungen gewährleistet werden.
2. Bei bewehrten Stahlbetonbalken sollte zur Feststellung des Schwingungseinflusses zusätzlich die Amplitude der Bewehrung gemessen werden, die besonders anfangs stellenweise erheblich größer als die des Betons sein dürfte. Ist die Amplitude des Stahls größer als die des Betons, was naturgemäß nur im plastischen Zustand des Betons nahe der Betonier-Oberseite (geringe Massenbelastung der Bewehrungs-

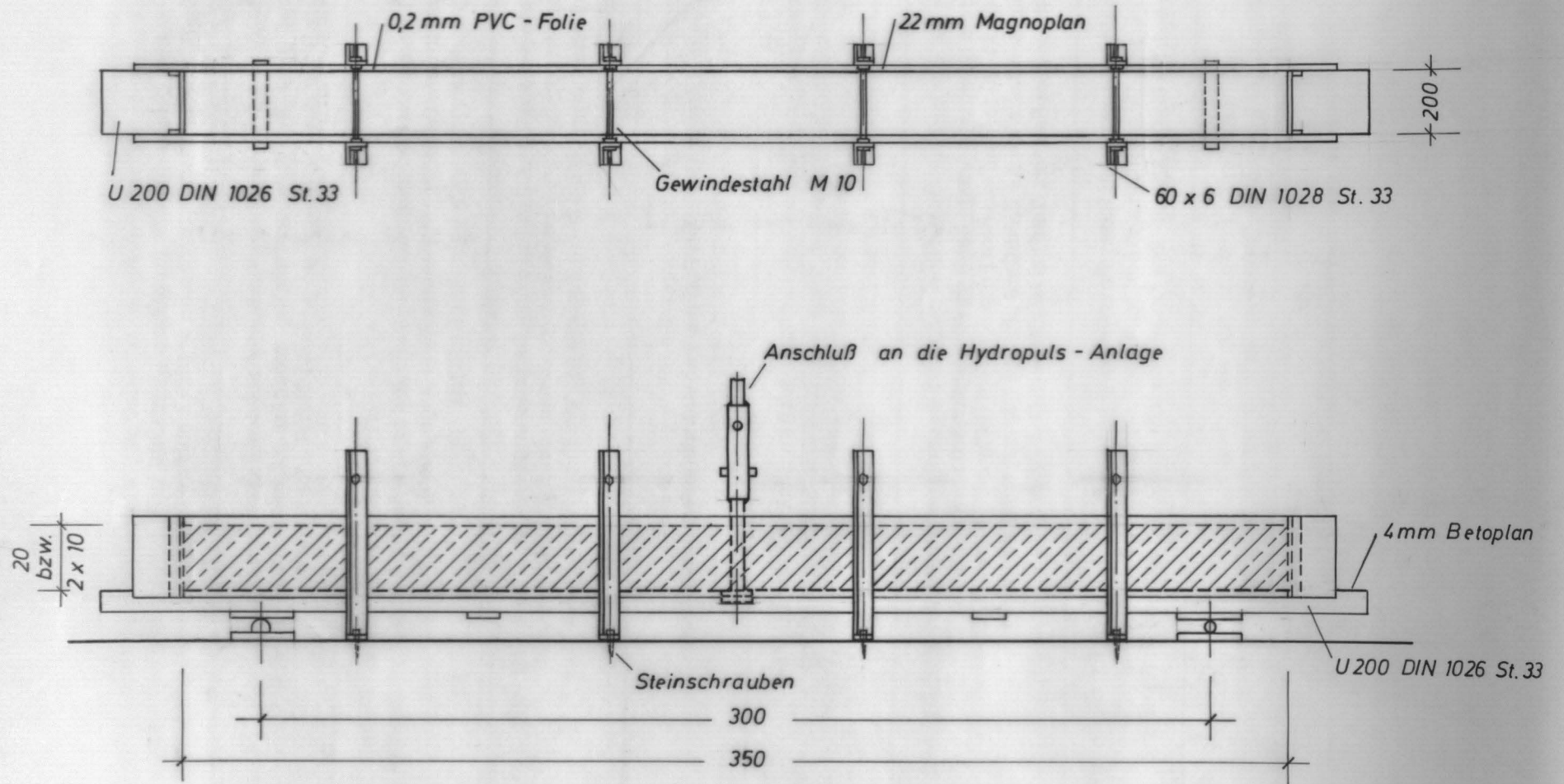
stäbe) möglich ist, wird der Stahl sich ein bestimmtes freies Volumen im Beton schaffen und so den Verbund zwischen Stahl und Beton verhindern.

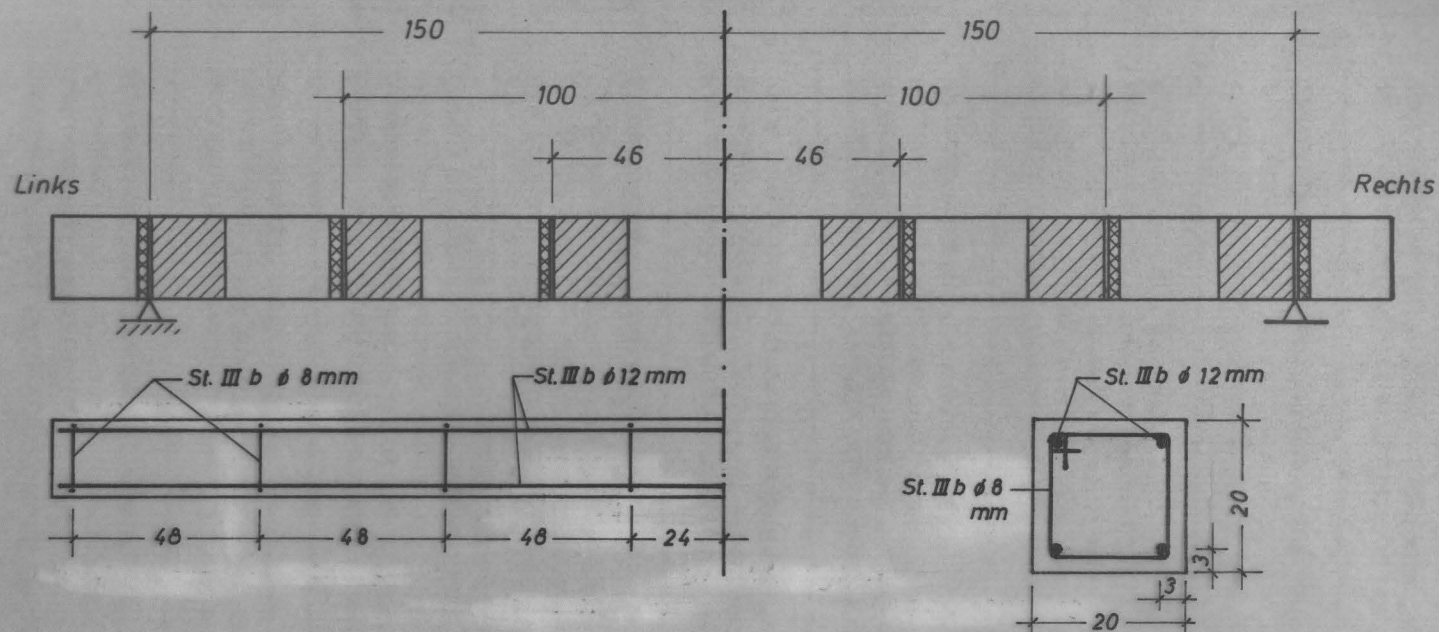
3. Der Einfluß der Schwingungen auf die Endfestigkeit des Betons hängt vermutlich vom Verhältnis Spannung zu Festigkeit bzw. vom Verhältnis Schwingungsverformung zu Bruchdehnung während der ersten Stunden und Tage ab. Zur besseren Beurteilung der tatsächlichen Schwingungsbeanspruchung wird daher vorgeschlagen, bei einer Fortführung der Versuche zeitlich parallel mit der Schwingungsanregung an anderen Prüfkörpern den Elastizitätsmodul und die Biegezugfestigkeit in jungem Betonalter zu ermitteln.

Der Aufwand für weitere Untersuchungen muß also erheblich vergrößert werden, um zu befriedigenden verallgemeinerungsfähigen Aussagen über den Einfluß von Schwingungen auf die Betonfestigkeit zu gelangen.

L i t e r a t u r

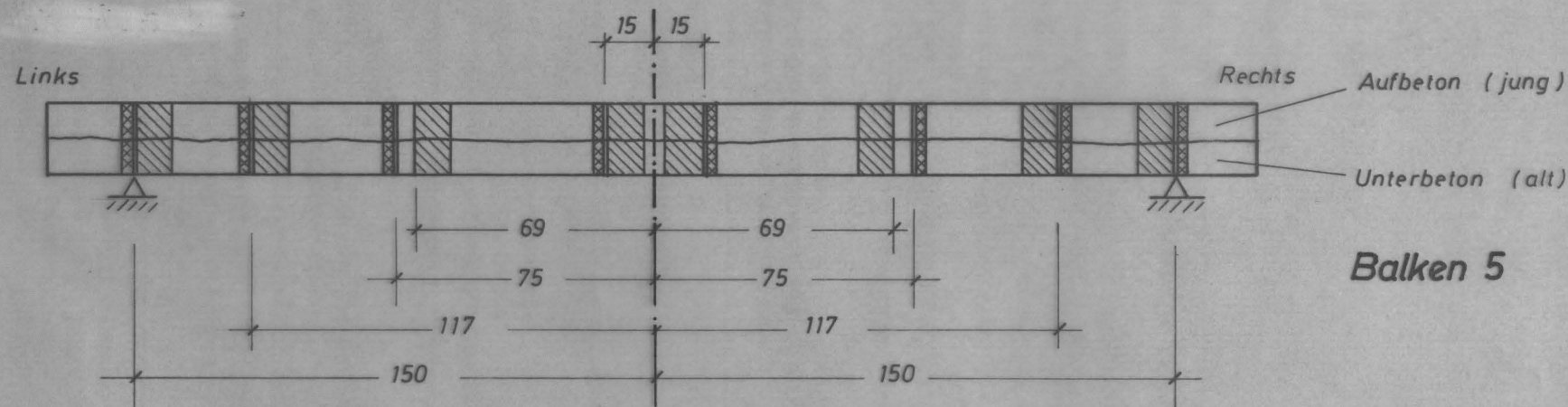
- /1/ Back, G.:
Der Einfluß von Erschütterungen und ähnliche Störungen auf Beton während seines Erstarrens und seiner anfänglichen Erhärtung.
Die Bauwirtschaft (1961), Heft 11, S. 278...281
- /2/ Tussing, F. und Pahde, W.:
Herstellung einer Stahlbeton-Fahrbahnplatte unter dem Einfluß von Erschütterungen und Durchbiegungen.
Beton- und Stahlbetonbau (1967), Heft 1, S. 15...21.
- /3/ Waubke, N. V.:
Versuche zur Klärung des Einflusses angeschnittener Bewehrungsstäbe auf die Druckfestigkeit von Betonbohrkernen.
Mitteilungsblatt für die amtliche Materialprüfung in Niedersachsen (1968/1969), Heft 8/9, S. 36 ... 39.
- /4/ Wierig, H.J.:
Eigenschaften von "grünem, jungen" Beton.
beton (1968), Heft 3, S. 90...100.
- /5/ Kordina, K. und Lewandowski, R.:
Einfluß des Zuschlaggesteins und der Kornzusammensetzung auf die Verformbarkeit von Straßenbetonen unter Biegebeanspruchung
Kirschbaum Verlag, Bad Godesberg 1967.
- /6/ Stöckl, S.:
Tastversuche über den Einfluß von vorangegangenen Dauerlasten auf die Kurzzeitfestigkeit des Betons. Heft 196 der Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (1967).





Balken 3

**Bewehrung für
Balken 1 - 5**



Prüfkörper:



Biegezug
20x20x3

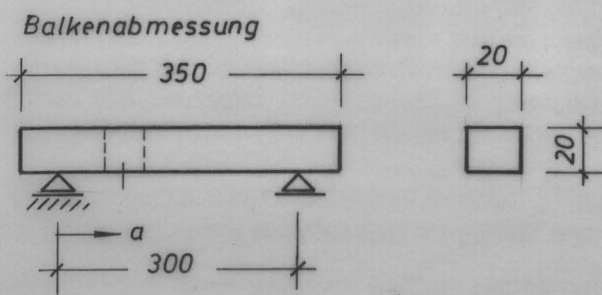
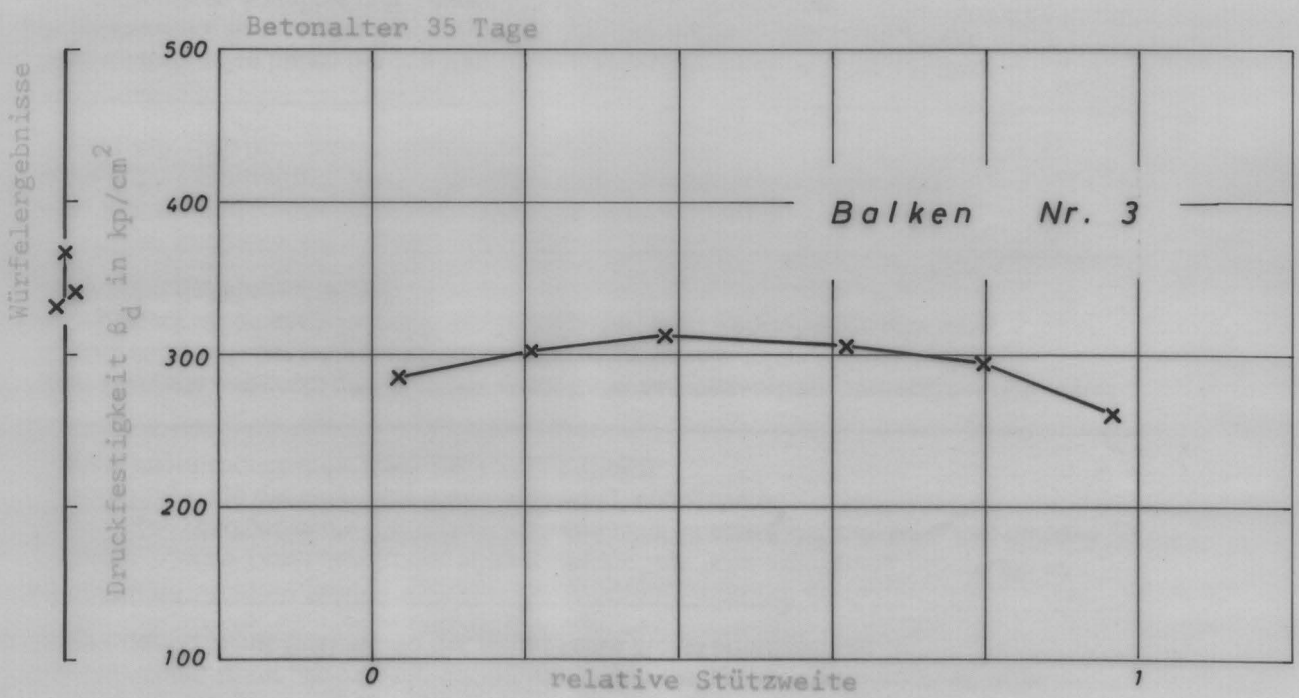
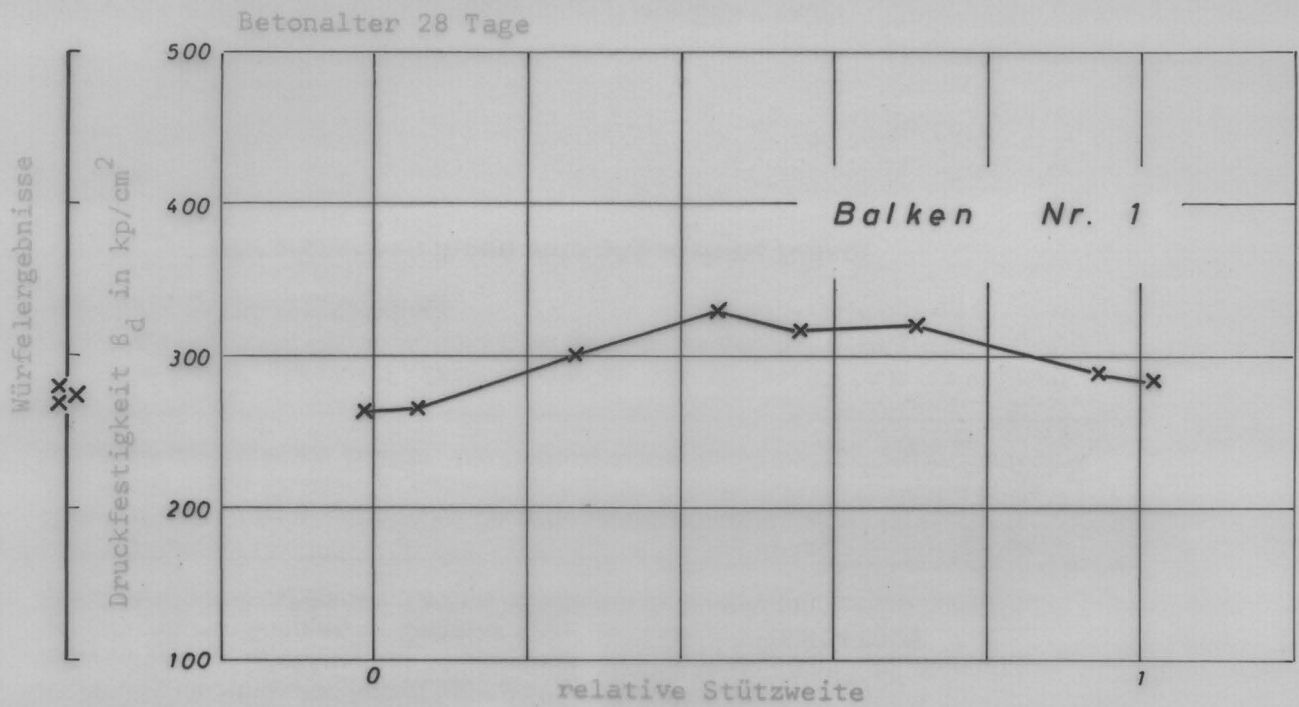


Druckfestigkeit
20x20x20

Druckfestigkeit

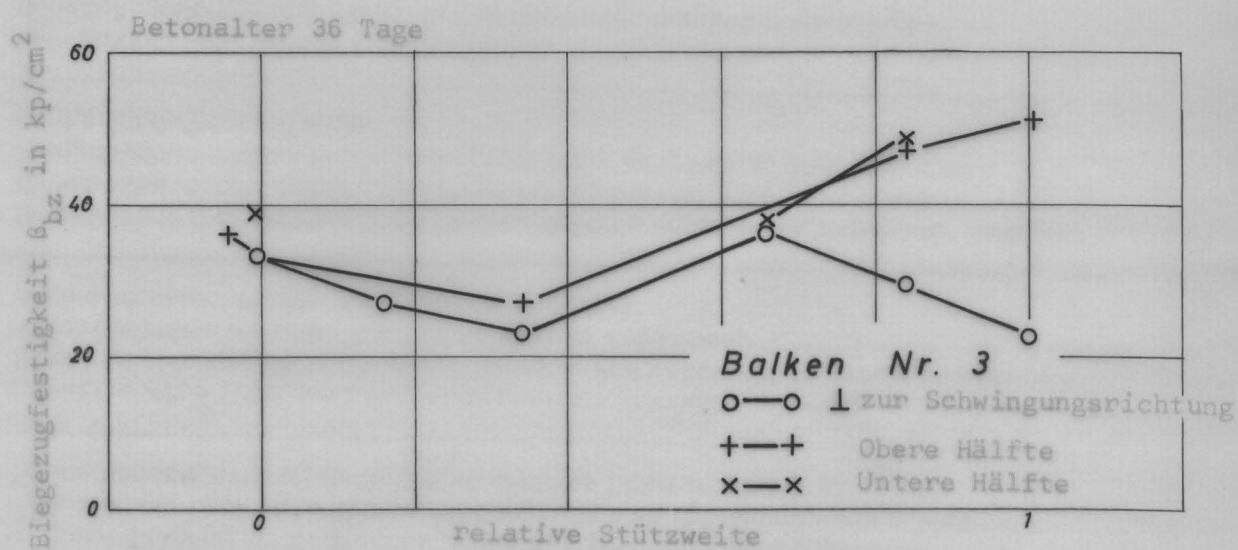
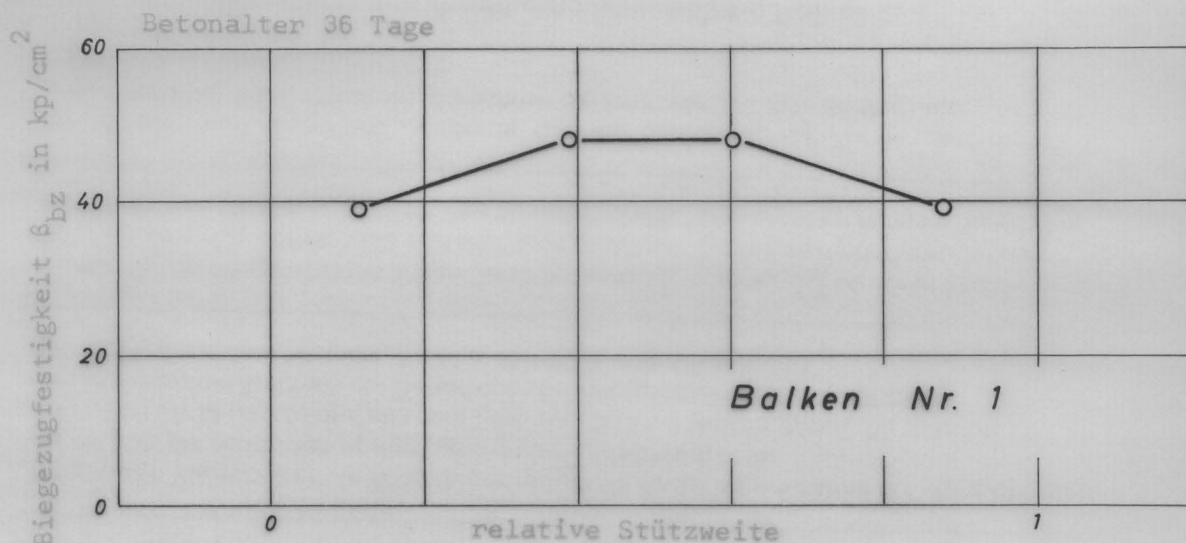
20x(20)x10





- Prüfergebnisse -

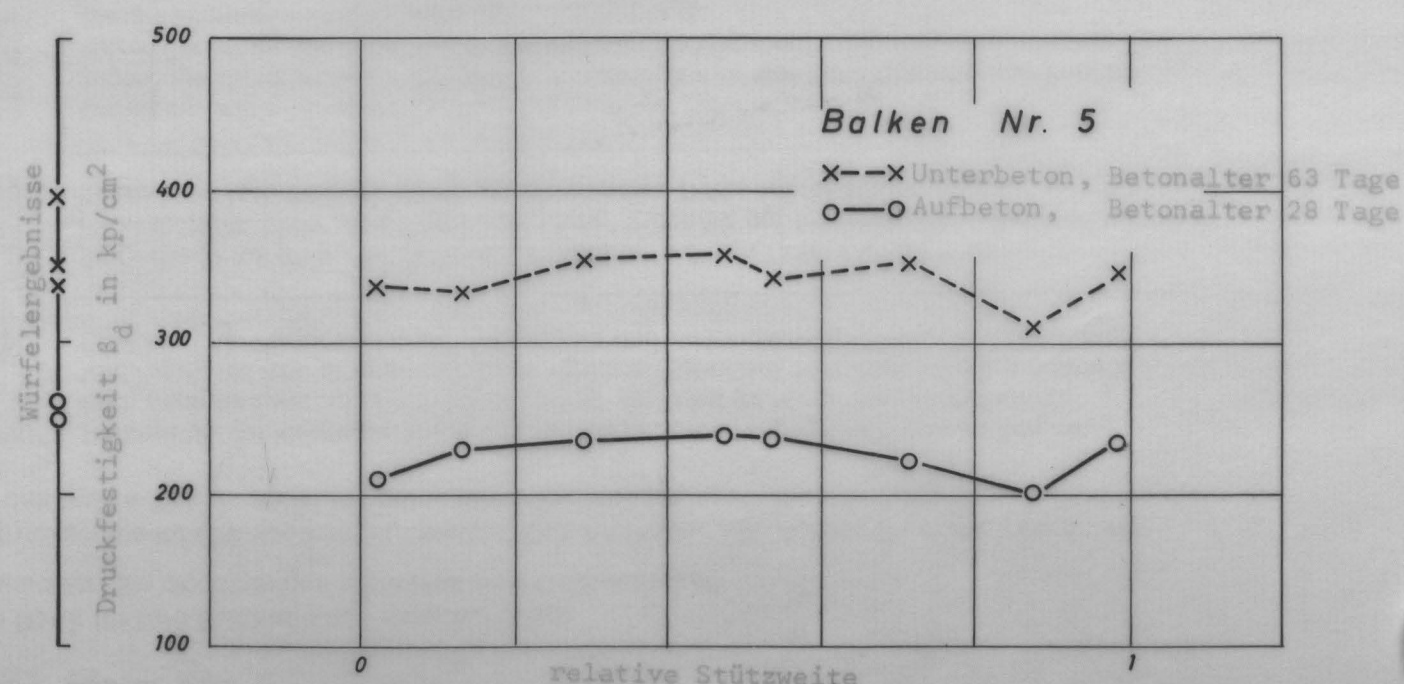
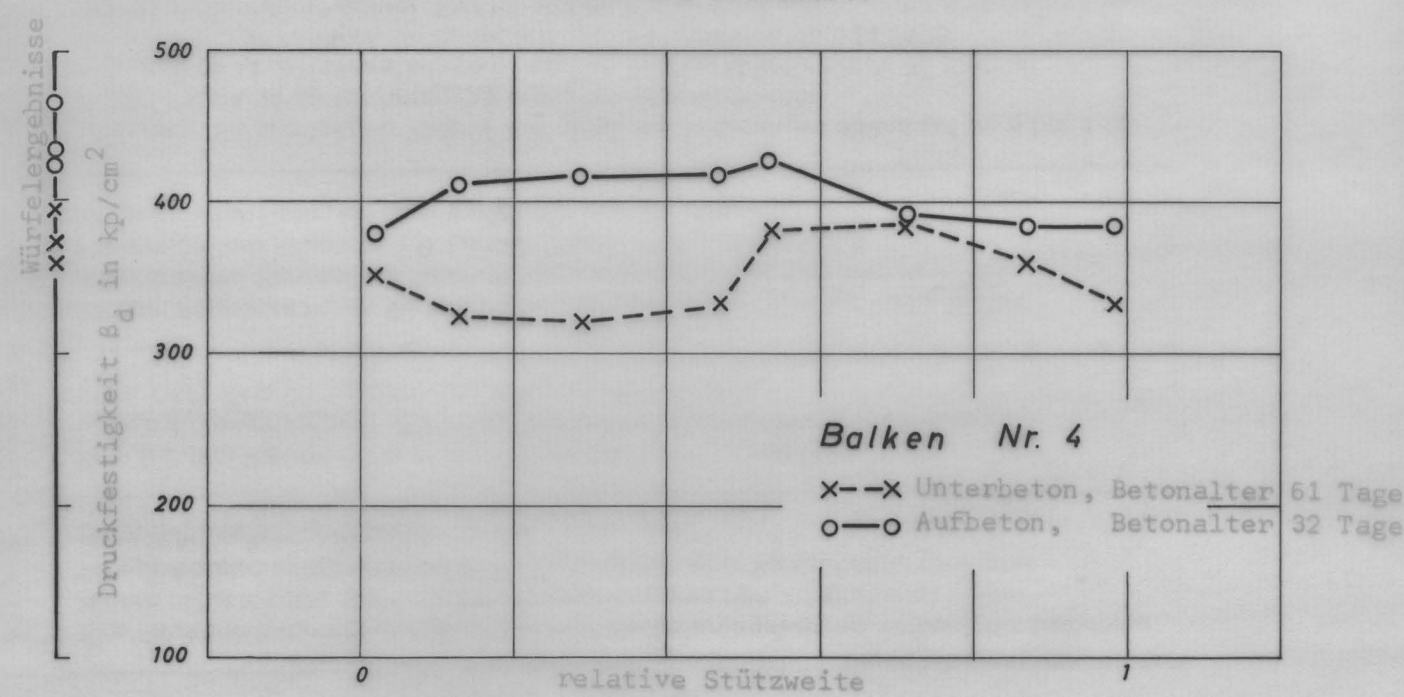
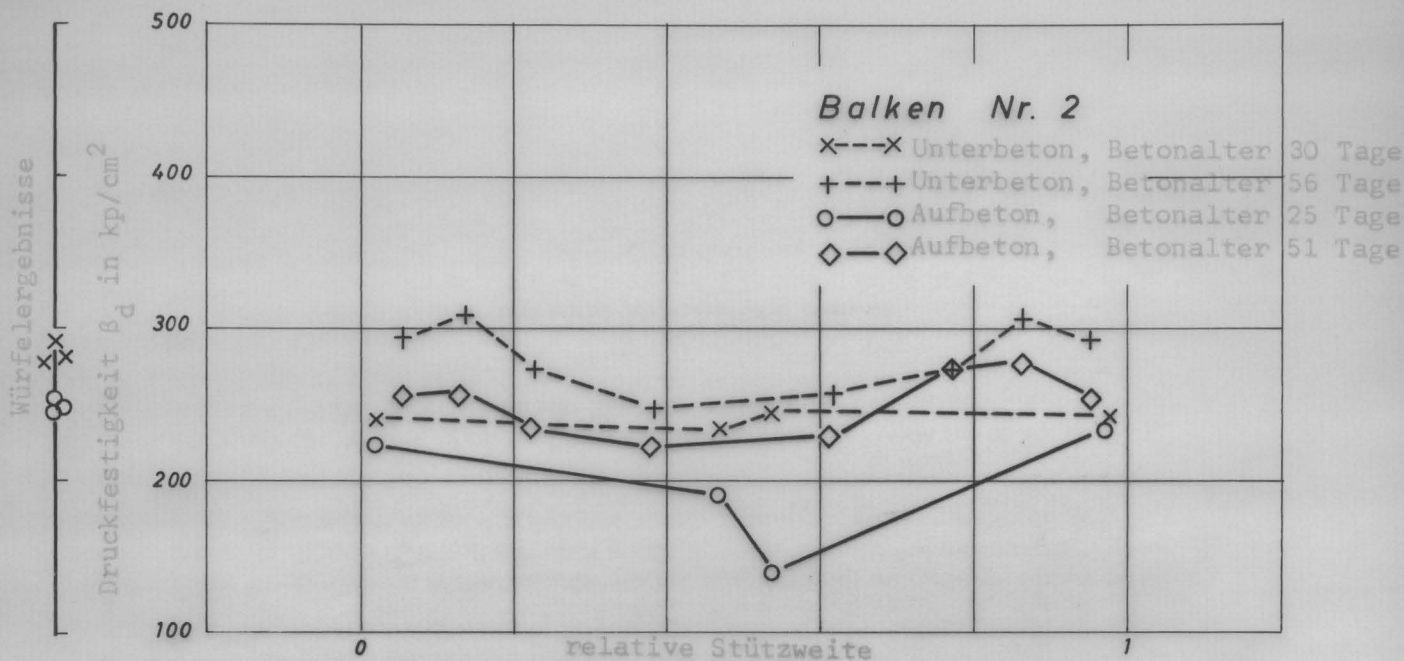
Druckfestigkeit - Balken 1 und 3

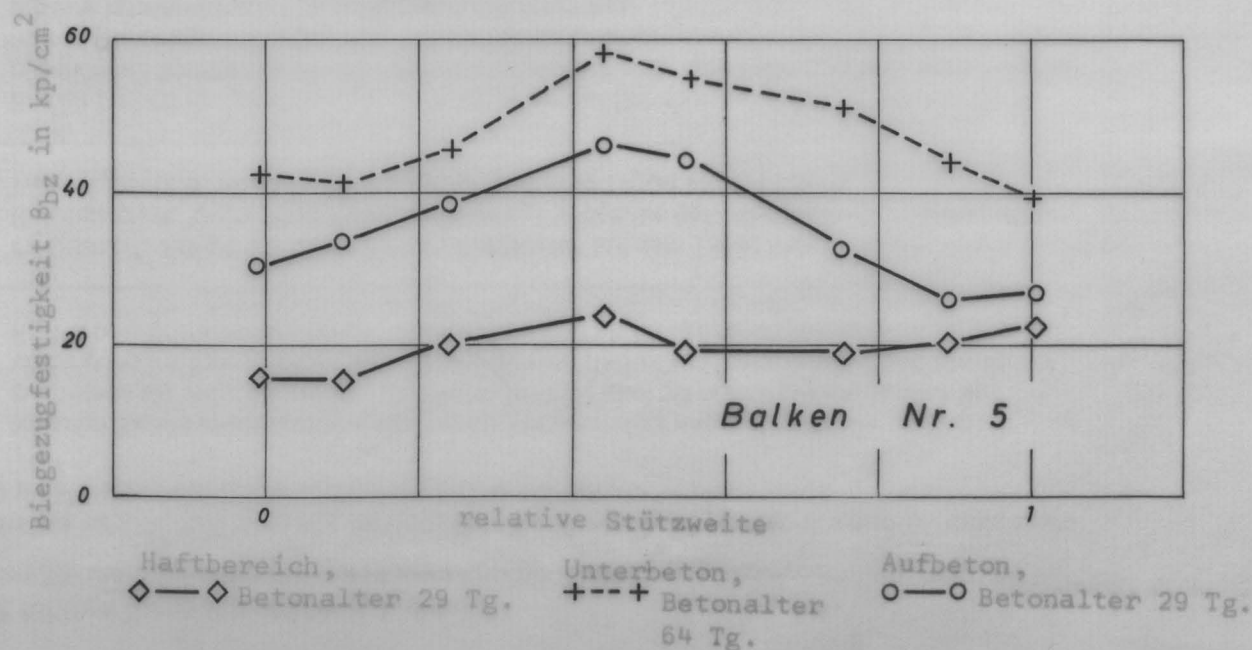
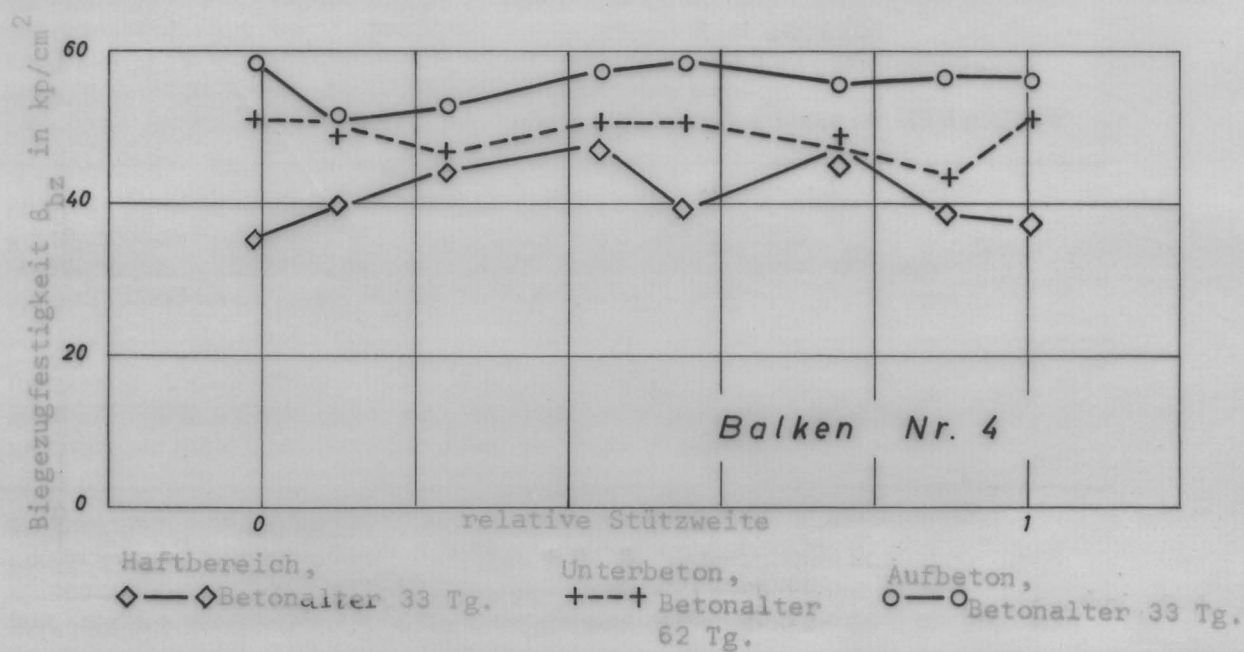
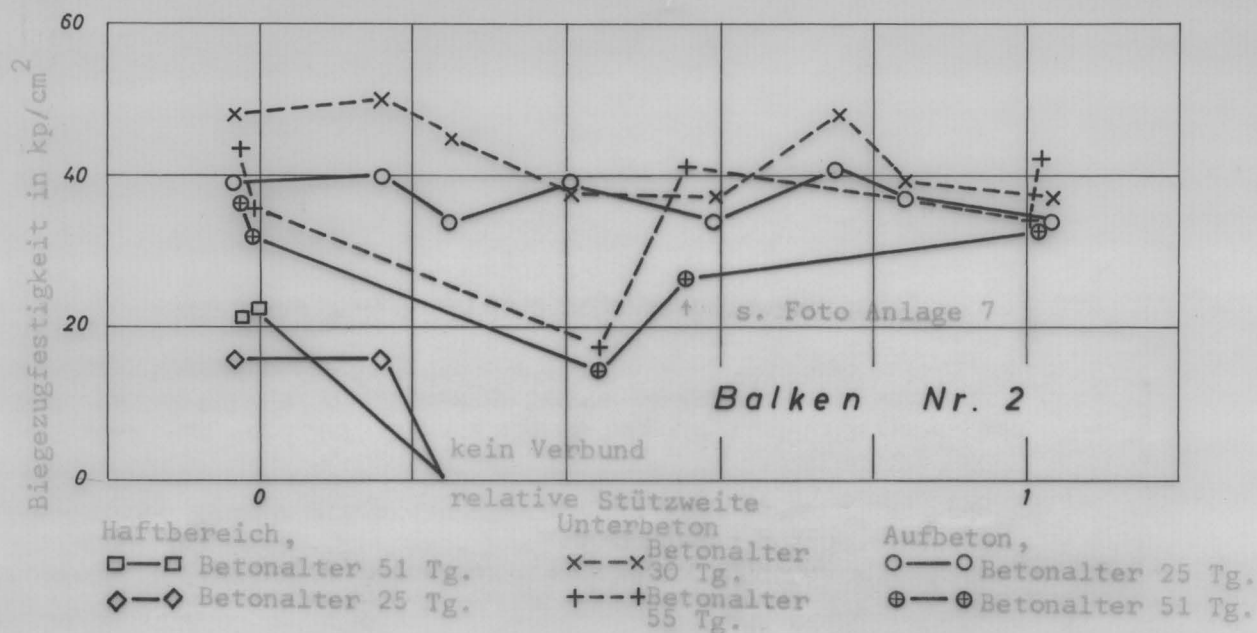


- Prüfergebnisse -

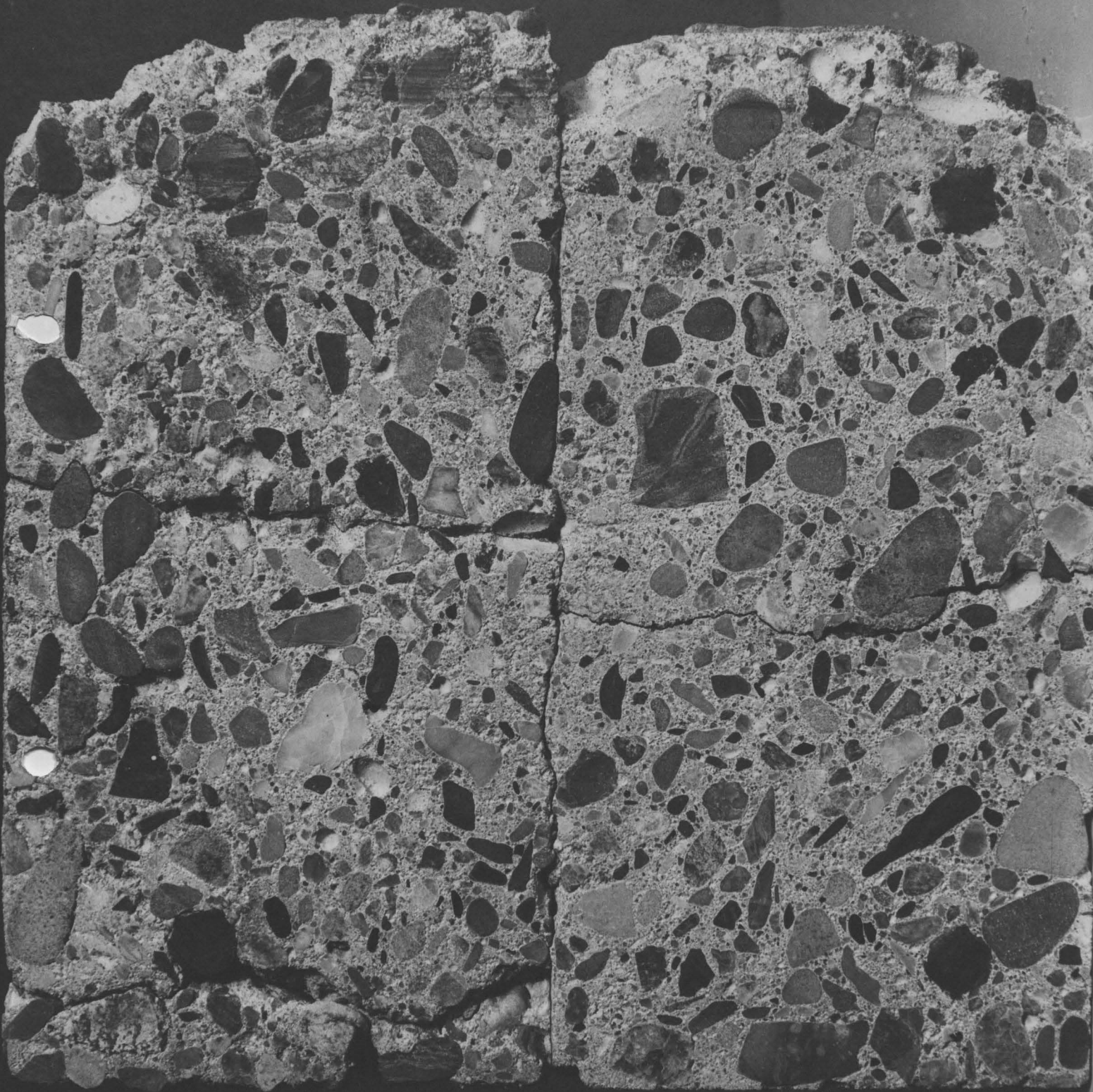
Biegezugfestigkeit - Balken 1 und 3

Anlage 4





- Prüfergebnisse -
 Biegezugfestigkeit - Balken 2, 4 und 5



Anlage 7: Auf Biegezugfestigkeit geprüfte Probe
(aus Balken 2, Mitte-rechts stammend)

linke Hälfte: Aufbeton

rechte Hälfte: Unterbeton

untere Hälfte: Säge-Anschnitt

STEINERT

8 Negative in Folie
zur Ansicht Fernleihe